

## **HORNO SOLAR CON GANANCIA SUPERIOR E INFERIOR. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO TÉRMICO**

Alfredo Esteves, Fernando Buenanueva, Leonardo Cavagnaro, Pablo Miralles  
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV-INCIHUSA-CONICET)  
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT)  
Av. Ruiz Leal s/n – Pque. Gral. San Martín – Mendoza – Argentina  
Tel.: 54 261 4288797 int. 109 – Fax: 54 261 4287370  
e-mail: [aesteves@lab.cricyt.edu.ar](mailto:aesteves@lab.cricyt.edu.ar)

**RESUMEN** Cuando se quiere trabajar con potencias de cocción más elevadas que para una familia, los hornos solares tienen un límite y es la posibilidad de ganancia solar. En este trabajo se presenta el rendimiento térmico de un horno solar de ganancia superior, a través de la ventana superior y de ganancia inferior a través de una ventana en la base de reducidas dimensiones, con el objeto de reducir las pérdidas térmicas al exterior, que se combina con un conjunto de espejos planos. Se muestra la tecnología utilizada para constituir las diferentes partes, horno propiamente dicho, reflectores, y absorbedores y se presentan los resultados de los ensayos térmicos indicados por la RICSA-CYTED. Los resultados de los mismos muestran una temperatura sin carga de 178.8 ° C (superior a los hornos solares ensayados) y una potencia para 50 ° C de diferencia de temperatura del agua-aire de 204.8 W. Estos valores lo sitúan en un horno muy eficiente y adaptado para su utilización con varias raciones de comida.

**Palabras clave:** cocción solar, hornos solares, ensayo de potencia

### **INTRODUCCION**

El desarrollo de sistemas solares ha dependido siempre de las posibilidades de lograr un sistema técnico-económico factible. En el caso de hornos solares destinados a cocción de alimentos, calefones solares destinados al calentamiento de agua o destiladores solares destinados a la purificación de agua en comunidades aisladas de posibilidades de suministro energético de base fósil, ha primado el desarrollo de sistemas de ganancia directa de energía, utilizando absorbedores de la radiación solar con cubiertas vidriadas a través de las cuales, los sistemas ganan energía directamente sobre la cara expuesta al sol, toda vez que la radiación solar incida sobre ellas.

Cuando fue necesario alcanzar mayores ganancias se ha hecho uso de reflectores planos. Cuando la temperatura de uso del sistema debe aumentar o aumentar la potencia, se hace necesario utilizar concentraciones mayores a través del uso de concentradores solares en dos o tres dimensiones, que permiten una concentración teórica tan alta como 10000 (Nandwani, 2003). Estos últimos sistemas requieren de dispositivos de seguimiento dado que la concentración de radiación ocurre en un área limitada.

La mayor parte de los sistemas con concentración usan espejos. El usar lentes para concentradores por lo general es muy costoso, dan mayor peso, son relativamente difíciles de instalar y ocasionan mayores pérdidas de energía por la absorción de los rayos solares al atravesar la lente. Todos estos factores implican menor eficiencia. En los últimos años se ha desarrollado la lente conocida como de Fresnel (Nandwani, 2003), que presenta la ventaja de ser barata, liviana y mucho más delgada que las lentes convencionales. Concentradores de este tipo han sido desarrollados y construidos por el INENCO (Saravia et al, 2001; Saravia et al, 2002).

El sistema propuesto aquí, es básicamente un horno solar, diseñado para ser utilizado en comedores escolares, y por lo tanto, se requiere mayor potencia de cocción que un horno domiciliario. Por lo tanto, se considera la ganancia solar directa a través de la cubierta superior y a la vez, una ganancia adicional por la parte inferior del horno, mediante espejos planos que reflejan la radiación sobre una ventana de reducidas dimensiones. Esto permite aumentar significativamente la radiación solar incidente sobre el sistema y a la vez reducir las pérdidas térmicas, lo que aumenta su potencia y temperatura final. El sistema es operado manualmente. Se presenta aquí el estudio térmico del mismo, siguiendo el protocolo de ensayos de la RICSA (Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos).

### **DESCRIPCION DEL SISTEMA**

La Figura 1 muestra una foto del conjunto del sistema tal como se presenta para ser utilizado. Posee el horno propiamente dicho, el reflector superior, con su ventana de doble vidriado, y se aprecia más abajo, el reflector inferior compuesto por varios espejos planos.

La capacidad del horno solar, se adecua a la producción de un comedor infantil, en donde se imparten raciones de 20 a 30 raciones diarias de comida. Se ha ampliado la capacidad de horneado a 70 dm<sup>3</sup>, lo que permite, cocinar varias pizzas a la vez, o varios Kg. de pan.

La cámara de cocción contiene una placa de acero que hace las veces del absorbedor que transforma la energía solar en energía térmica aumentando la temperatura de la misma con el alimento contenido en un recipiente (olla o fuente) para cocinarlo.

Esta cámara se encuentra aislada térmicamente en sus partes opacas y también en sus partes transparentes ( uso de DVH) de manera tal de hacer más eficiente el calor que incide dentro de la cámara del horno.

El recinto que contiene al absorbedor tiene las siguientes medidas de 575 mm. x 1150 mm. y 200 mm. de altura, por su parte exterior, dejando un volumen interior libre de 500 mm. x 1000 mm. y 160 mm. de altura, lo que conforma un volumen de 80 dm<sup>3</sup>. Ver figura 2.



*Figura 1: vista de todo el sistema.*



*Figura 2: vista del interior del horno.*

El sistema propuesto en este trabajo, consiste en un horno solar al que se le adiciona un sistema reflector para mayor ganancia de energía solar que consistente en:

- 1- Reflector superior que re-orienta los rayos incidentes sobre el mismo, hacia la cámara de calentamiento por la parte superior (ver Figura 3). El reflector superior posee 500 mm x 1000 mm y permite la incidencia de la radiación solar directamente al interior del sistema por la parte superior y enfatiza la ganancia solar por la abertura vidriada superior de la cámara de calentamiento.
- 2- Sistema de reflexión inferior que re-orienta los rayos incidentes sobre el mismo hacia la cámara de calentamiento por la parte inferior. Este está formado por 9 espejos planos de 3.2 mm de espesor, 0.1 m de ancho y el largo coincidente con la dimensión mayor de la ventana inferior del horno, de 1 m de ancho (Ver Figura 4). Estos se ubican en un plano horizontal a una distancia de 0.70 m de separación entre la ventana inferior y la línea de espejos. Entre ellos se deja una distancia para tomar en cuenta la sombra arrojada por cada uno sobre el siguiente en el mes más desfavorable, que en este caso sería Junio, el día correspondiente al Solsticio.

En el manejo del mismo, se coloca el soporte del reflector superior en la posición correcta (cuando baña totalmente la placa absorbidora interior). Luego se van adicionando los reflectores inferiores de a tres. Como son en total 9, esto hace que el proceso se realice en tres pasos, se orientan tres de ellos hacia la ventana inferior (Figura 5), luego de 5 minutos, tiempo en el cual, la temperatura de los vidrios fue aumentando lentamente, se orientan otros 3, es decir, se logra que ahora 6 estén reflejando sobre el doble vidrio inferior y luego de 5 minutos, los tres restantes. Lo que ocurre es que de orientar todos de un solo paso, genera gradientes térmicos localizados que producen un aumento de temperatura diferente en una zona que en otra del vidrio, lo que deriva en tensiones y podría producir su rotura.

Debido a la variación en la posición del sol, el sistema deberá corregirse tal como es el caso de hornos solares, admitiendo un tiempo de 30 minutos entre correcciones de posición.



Figura 3: reflector superior



Figura 4: reflectores laminares inferiores en su soporte de caño.



Figura 5: vista del conjunto ventana inferior-reflectores y se puede apreciar la reflexión sobre la misma

La Tabla 1 indica las características dimensionales del sistema de acuerdo a las normas elaboradas por RICSA, CYTED. (Castell, 2002).

**Lugar: Mendoza, Argentina**

**Latitud: -32.9 ; Longitud: 68.8 Oeste ; Altitud: 800 msnm**

Nombre o modelo que lo identifique	HORNO DOBLE EFECTO
Tipo de Cocina Solar	HORNO SOLAR
Superficie de cubierta vidriada [m <sup>2</sup> ]	0.59
Área de reflectores [m <sup>2</sup> ]	1.67
Angulo de Altitud solar para el día del ensayo a las 12 hrs.	37 grados ( corresponde a hora solar)
Superficie proyectada horizontal [m <sup>2</sup> ]	2.21
Superficie de placa absorbadora [m <sup>2</sup> ]	0.225
Peso [Kg.]	Aprox. 35 Kg.
Volumen interior [m <sup>3</sup> ] (útil para hornear)	0.072
Dimensiones en posición de operación (ancho, alto y profundidad)	1.15 m. x 1.98 m. x 1.50 m.
Dimensiones en posición de traslado	1.15 m. x 1.38 m. x 1.50 m.
Número de ollas y volumen [m <sup>3</sup> ]	Una (1) olla de 0.011 m <sup>3</sup>
Tipo de ollas (fijas o removibles)	Removibles
Las ollas se proveen con la cocina o no	NO
Otros usos: secadero, esterilización de agua, calentamiento de agua para otros usos, etc.	Esterilizador de agua. Calentador de agua.

Tabla I. Características dimensionales del Sistema

#### Manejo del horno

El manejo del horno se realiza orientando el mismo para recibir radiación solar, para lo cual, el costado se coloca paralelo a la dirección de los rayos solares. El reflector superior se inclina apropiadamente para que la reflexión producida en éste, bañe

totalmente la ventana superior. El reflector inferior se orienta de tal modo, que la radiación reflejada por cada uno, incida sobre la ventana inferior y la bañe totalmente.

Es importante tomar en consideración que la temperatura del vidrio inferior, debe subir lentamente para evitar que ocurra un estrés térmico, razón por la cual, se van orientando los reflectores de a grupos de tres, cada 10 minutos, de manera tal que el calentamiento sea paulatino y de este modo, evitar la rotura de los vidrios inferiores.

Cuando por la misma trayectoria solar se produce una variación en la posición de los rayos solares, dado por el movimiento terrestre, los rayos tienen distinta inclinación minuto a minuto, el resultado es que la línea de reflexión que se va desplazando del lugar previsto. El sistema tiene un soporte móvil, lo que permite corregir la reorientación por cambio de la trayectoria solar y además permite guardarlo para protegerlo de las inclemencias climáticas (lluvia o rocío nocturno).

En algún momento la reflexión desde los espejos, se desplaza y será necesario reorientar los mismos corrigiendo la dirección de reflexión. Esto será necesario realizarlo una vez cada 30 minutos.

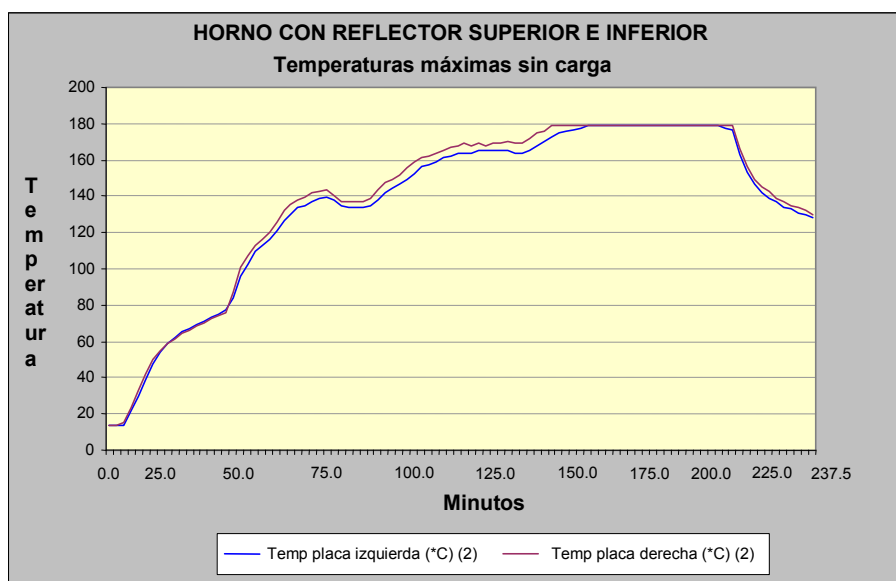
## COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA

Los ensayos térmicos se han realizado tomando como referencia el protocolo de RICSA ya indicado anteriormente. En el mismo se han considerado dos ensayos fundamentales:

- Temperatura máxima sin carga
- Potencia de cocción (entre 40 y 90 ° C)

### *Ensayo de temperatura máxima sin carga*

El ensayo se debe realizar en horas cercanas al mediodía solar, cuando la potencia solar sobre el sistema es máxima. Se abre el horno y se mide temperatura de placa (absorbedor), temperatura exterior, radiación solar y velocidad de viento. La Figura 6 muestra los valores de temperatura durante el ensayo; en el cual, la temperatura máxima alcanzó los 178.8 ° C, sensiblemente superior a otros modelos de hornos solares en los cuales la misma alcanza entre 145 y 155 ° C.



*Figura 6: ensayo de temperatura máxima sin carga*

Como se puede observar en la figura 6, las curvas tienen “lomas”, coincidentes con los momentos previos a producir cada reorientación. Mientras mayor es la pendiente, mayor es la potencia y crece más la temperatura en el absorbedor. Se puede apreciar también que si se trabaja con reorientaciones en intervalos mayores, la potencia del mismo disminuye y no sería apropiado utilizarlo así, ya que se desestima energía que podría aprovecharse.

### *Potencia de cocción*

Para el ensayo de potencia, se utiliza agua como carga. En este tipo de horno, que se ha diseñado para hornear, mas que para calentar agua, se ha fabricado un recipiente especial, como una bandeja, de poca altura, cuyas dimensiones son: 0.80 m x 0.26 m x 0.08 m de largo, ancho y altura respectivamente y se construyó también una tapa para cubrirla. El material es de chapa de acero, la que se ha pintado con pintura negro mate. La misma tiene un volumen de 16 litros cuando está totalmente llena, pero en este caso, se ha utilizado una carga de 6 litros, haciendo las veces de 6 Kg. de carne, ya sea asado, empanadas, pizzas o pan.

Para efectuar las mediciones de potencia, se han registrado los valores de temperatura del agua dentro del recipiente en el interior del horno, la temperatura de la placa absorbidora, la temperatura exterior, la radiación solar y la velocidad de viento.

La Figura 7 muestra los valores obtenidos en unos de los ensayos que se realizaron. Se puede observar lo siguiente:

Tiempo en alcanzar los 80 ° C: 112.5 minutos

Tiempo en alcanzar la ebullición (98.6 ° C): 165 minutos

La temperatura del absorbedor (curva de trazo negro) se mantiene muy superior a la temperatura del agua, entre 30 y 50 ° C , para valores de temperatura del aire exterior bastante bajos (entre 15 y 20 ° C durante el calentamiento del agua). Posteriormente, luego de alcanzar la ebullición, se dejó el horno orientado hacia el oeste y se obtuvieron los siguientes parámetros:

Tiempo en que la temperatura se mantiene por encima de 90 ° C: 190 minutos (más de 3 hrs.) luego de la ebullición.

Tiempo en que se mantiene por encima de 80 ° C: 265 minutos (4.4 hrs.) luego de la ebullición.

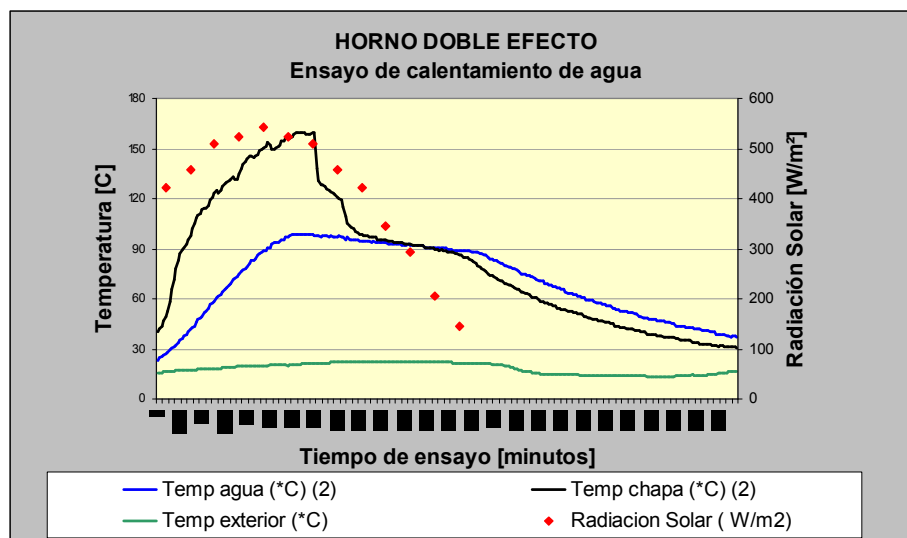


Figura 7: Calentamiento de agua para el ensayo de potencia.

El cálculo del valor de potencia se obtiene tomando en cuenta la energía absorbida por el agua en ese intervalo (en Julios), dividido por el intervalo de tiempo (en segundos).

La Figura 8 muestra los valores obtenidos al calcular la potencia del horno solar. Como se puede observar alcanza los 272 W al comienzo, es decir, para 20° de diferencia entre el agua y el aire exterior. Luego, conforme la temperatura va aumentando la potencia va disminuyendo. Una medida interesante es la potencia para 50 ° C de diferencia entre el agua y el aire exterior, en este caso resulta de 204.8 W.

Como se puede apreciar, el diseño del reflector inferior, otorga una ganancia importante al horno, tomando en cuenta que la potencia sin este reflector, se situaría en valores del orden de la mitad ( Esteves 2003).

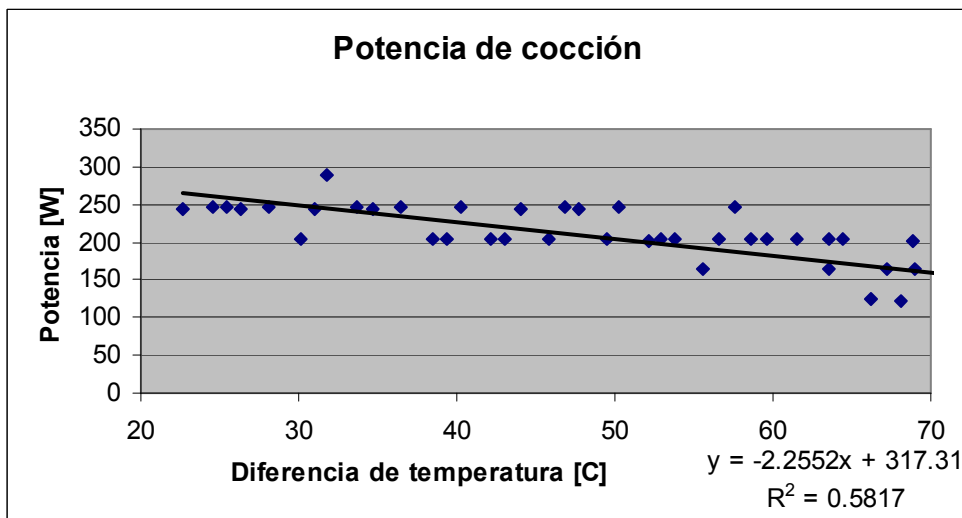


Figura 8: Potencia del horno solar en función de la diferencia de temperatura.

## CONCLUSIONES

Tanto en comunidades rurales aisladas como en los barrios marginales, donde el aprovisionamiento de energía se vuelve un problema, la cocción solar resulta una excelente alternativa (Esteves et al., 1999). Cuando queremos trabajar con potencias mayores, los hornos solares tienen un límite y es la posibilidad de ganancia solar. En este trabajo se presenta el rendimiento térmico de un horno solar de ganancia superior, a través de la ventana y de ganancia inferior a través de otra ventana de reducidas dimensiones, con el objeto de reducir las pérdidas térmicas al exterior.

Se indican la tecnología utilizada para constituir las diferentes partes, horno propiamente dicho, reflectores, y absorbedores y se presentan los resultados de los ensayos térmicos indicados por la RICSA-CYTED. Los resultados de los mismos muestran una temperatura sin carga de 178.8 ° C (superior a los hornos solares ensayados) y una potencia para 50 ° C de diferencia de temperatura del agua-aire de 204.8 W. Estos valores lo sitúan en un horno muy eficiente y adaptado para su utilización con varias raciones de comida.

Es de esperar poder trabajar hacia la transferencia y adopción por parte de comunidades con las características mencionadas, para esto se está en contacto con AAFME (Asociación de Apoyo Familiar de Mendoza), que posee 6 comedores infantiles en la zona marginal del gran Mendoza y en la zona rural.

## REFERENCIAS

- Nandwani S. 2003. "Las Cocinas Solares en Iberoamérica" – Cap. 3. Ed. INENCO. Salta.
- Saravia L., Cadena C., Caso R. y Fernández C. (2001). *El diseño de concentradores reflectores del tipo Fresnel destinados a Cocinas solares*. ERMA Vol. 9, pp57-65.
- Saravia L., Cadena C., Caso R. y Fernández C. (2002). *Cocinas solares comunales de uso múltiple*. ERMA. Vol. 10, pp.51 – 56.
- Esteves A., Pattini A., Mesa A., Candia R., delugan M. 1999. "Sustainable development of Isolated Communities. the Role of Solar Technology. the Case of Ñacuñan, Santa Rosa, Mendoza-Argentina". Ecosystems and Sustainable development II, *Advances in Ecological Sciences*. Section 6, pp. 235-244. Ed. Brebbia-Usó. Witpress. Southampton, UK.
- Esteves A. 2003. *Las Cocinas Solares en Iberoamérica Capítulo 11 – Estudio de Casos*. Ed. INENCO. Salta. Argentina.